

# Grabado termo-mecánico de redes de difracción de periodo largo permanentes

## Thermo-mechanical fabrication of permanent long period grating

J.M. LAZARO, A. QUINTELA, M.A. QUINTELA, M. LOMER, A.COBO y J.M. LOPEZ-HIGUERA

1. Grupo de ingeniería fotónica(Dpto. TEISA), Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n, Plaza de la Ciencia, Edificio de I+D de Telecomunicación, 39005 - Santander

Persona de contacto: J.M. LÁZARO ([jmlu@teisa.unican.es](mailto:jmlu@teisa.unican.es)).

### RESUMEN:

Las redes de difracción de periodo largo (RDPL) tienen un gran número de atractivas propiedades que pueden ser explotadas en una gama variada de aplicaciones entre las que se encuentran la detección y medida. Existen diferentes técnicas para su grabado. En este artículo se muestra una modificación de la técnica de presión mecánica. Esta modificación permite el grabado de RDPLs permanentes sin necesidad de utilizar láseres intensos y costosos. La técnica se ha demostrado comparando las medidas experimentales con los resultados de las simulaciones comprobando su concordancia.

**Palabras clave:** red de difracción de periodo largo, presión mecánica, fabricación, RDPL permanente.

### ABSTRACT:

Long period gratings (LPG) have a number of attractive properties that may be exploited in a wide range of applications like detection and measure. There are different writing techniques. In this paper a modification of the mechanical technique is shown. This modification allows the writing of permanent LPGs without the necessity of use intense and expensive lasers. The measured results are compared with simulated results in order to check the concordance.

**Key words:** long period gratings, mechanical technique, fabrication, permanent PPG.

## 1.- Introducción

En los últimos años se ha venido incrementando el uso de sensores ópticos en multitud de campos (química, ingeniería civil, biomedicina, etc)[1]. Este tipo de sensores presentan ciertas ventajas respecto a sensores convencionales como es el hecho de reducido tamaño, inmunidad a interferencias, posibilidad de interrogación a largas distancia, etc. Por otro lado tiene como inconveniente que, por norma general, los equipos necesarios para realizar medidas (fuentes de luz, fotodetectores, etc) tienen un coste elevado.

Muchas son las técnicas usadas en estos sensores (interferometría, espectrometría, redes de difracción, etc)[1] pero de entre éstas cabe destacar, por su gran avance y evolución, las redes de difracción en fibra óptica. Estos dispositivos presentan adicionalmente la ventaja de ser totalmente compatibles con la fibra óptica además de poderse realizar una multiplexación en longitudes de onda, lo que se traduce en la posibilidad de conectar en serie varios sensores consiguiendo de este modo una medida cuasidistribuida. Dentro de estas hay que distinguir entre las redes de difracción de periodo corto (RDFO) y las redes de periodo largo (RDPL), siendo la

principal diferencia entre ellas el periodo de la red.

Los sensores basados en redes de difracción han sido usados para la medida de diversos parámetros (deformación, temperatura, presión, parámetros químicos, etc). En un primer momento su uso se centró tan sólo en los de periodo corto pero con el paso del tiempo los de periodo largo han venido siendo utilizados con más asiduidad.

Las RDPL pueden ser grabadas mediante una gama variada de técnicas aptas para producir variaciones localizadas de índice de refracción (de tamaño menor que el periodo) en la fibra (fundamentalmente en el núcleo). En unos casos se consiguen a base de densificaciones locales de los materiales de la fibra (mediante radiaciones infrarrojas, arco eléctrico, láser CO<sub>2</sub>, difusión de dopantes, deformaciones mecánicas,...) [2-6] y en otros utilizando el mecanismo de la fotosensibilidad UV [7,9].

En el caso de la deformación mecánica, mediante la presión de una placa de surcos periódicos contra la fibra se consigue realizar una RDPL. Uno de los inconvenientes de esta técnica consiste en que la RDPL obtenida no es permanente, desaparece al eliminar la presión sobre la fibra. En este artículo se presenta una modificación de este método con el objetivo de conseguir una RDPL per-

manente. De esta forma es posible evitar la utilización de láseres consiguiéndose un proceso de fabricación más barato y seguro.

## 2.- Fundamentos teóricos

Una RDPL consiste en una variación periódica del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica. El periodo de una RDPL toma valores típicamente entre 100  $\mu\text{m}$  y 1 mm. Como consecuencia de ello se produce un acoplo entre el modo fundamental de propagación y modos de cubierta. Este acoplo se rige por una condición de fase, que depende de la diferencia de índice de refracción efectivo entre los modos de cubierta y el modo fundamental, así como del periodo de la RDPL, de acuerdo a la siguiente expresión

$$\lambda_n = [n_{ef}(\lambda_n) - n_{cub}^{(n)}(\lambda_n)] \cdot \Lambda \quad (1)$$

donde  $\lambda_n$  es la longitud de onda de acoplo,  $n_{ef}$  es el índice efectivo de propagación en el

núcleo,  $n_{cub}^{(n)}$  es el índice efectivo de propagación del modo  $n$  en la cubierta y  $\Lambda$  es el periodo de la RDPL. Debido a que los modos de cubierta sufren una altísima atenuación, el espectro de transmisión de una RDPL contiene una serie de bandas de atenuación centradas en las longitudes de onda en las cuales se ha producido un acoplo entre el modo fundamental y los modos de cubierta [7].

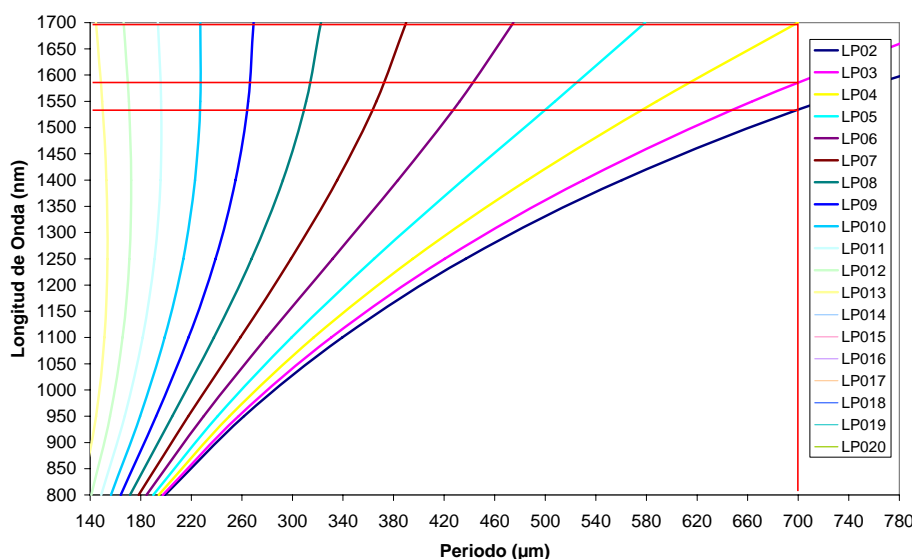


Fig. 1: Relación entre el periodo y las longitudes de onda de resonancia para diferentes modos de cubierta en una red de difracción de periodo largo.

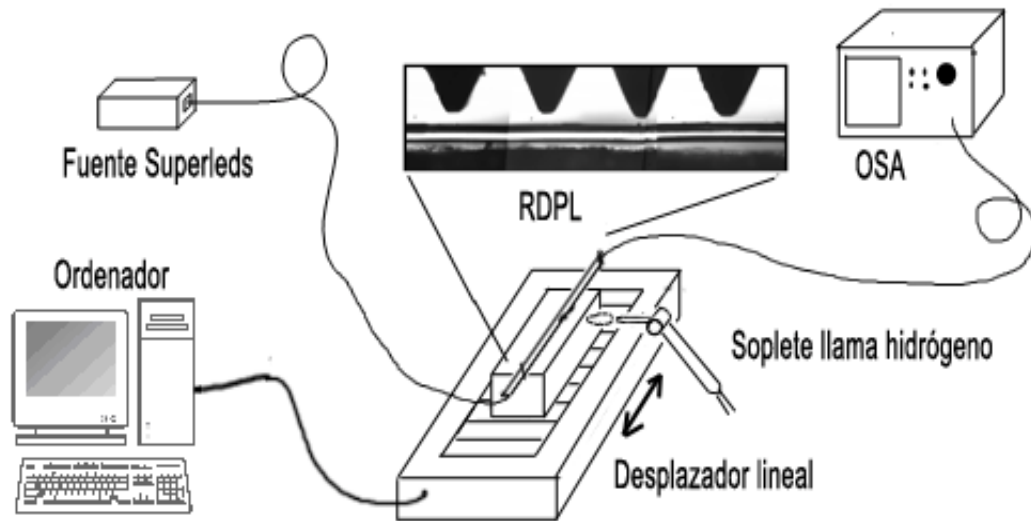


Fig. 2: Esquema del montaje realizado

La dependencia de los índices efectivos con la longitud de onda supone que la relación entre el periodo y las longitudes de onda de resonancia no sean lineales, tal como se ilustra en la Fig. 1. Esta gráfica se ha obtenido a partir de una simulación de los índices efectivos de núcleo y cubierta de una fibra estándar. Cada curva muestra la relación entre el periodo de la red de difracción y la longitud de onda a la que se produce la resonancia de acoplo a cada modo de cubierta.

### 3.- Descripción Montaje experimental

Para demostrar la técnica propuesta se ha efectuado el montaje que se ilustra en la figura 2 que se pasa a describir.

La fibra sobre el que se coloca la placa de surcos se sitúa sobre un desplazador lineal controlado por ordenador. Una llama de hidrógeno ( $\sim 2000^\circ\text{C}$ ) se sitúa en una posición fija transversal a la fibra. De este modo es posible realizar una serie de barridos con la llama a lo largo de la zona en la que la placa está sobre la fibra. Con ello se consigue el grabado de la estructura periódica de la placa en la fibra y con ello la RDPL permanente.

La caracterización óptica se realiza mediante una fuente de super-LEDs (Agilent 83437A) y un analizador de espectros ópticos (HP86142A). La fuente está compuesta por 4 LEDs abarcando un rango espectral de 1200 a 1700 nm.

### 4.- Resultados

En la fabricación se utilizó una placa de surcos de  $700\mu\text{m}$  de periodo y 5 cm de longitud por lo que, según la Fig.1, se han de obtener tres picos a 1530, 1590 y 1700 nm, siendo por ello la fuente de superleds adecuada para su caracterización.

Como primer paso se realizó presión con la placa de surcos sobre la fibra para observar el espectro que se obtiene por el método de presión mecánica tradicional. Dicho espectro (Fig. 3) muestra los picos indicados por la simulación. Los resultados concuerdan bastante bien con las simulaciones. En el espectro obtenido se ha indicado los modos correspondientes a cada pico de resonancia.

Seguidamente se pasó a grabar la RDPL por el método propuesto. Se realizaron varias pasadas con la llama finalizando cuando comenzaron a aparecer picos de atenuación en el espectro. En la Fig. 3 se muestra el espectro obtenido. Este espectro permaneció aun cuando la placa de surcos fue quitada. Como se puede ver los picos están ligeramente desplazados con respecto al caso anterior pero se aprecian claramente los mismos picos. También se observan otra serie de picos más pequeños. Se considera que un depuramiento de la grabación disminuirán estos picos.

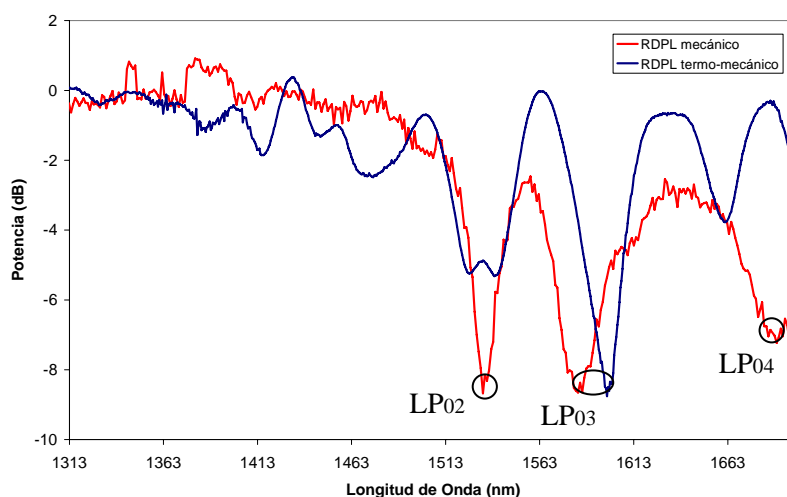


Fig. 3: Espectros de la RDPL realizado con presión mecánica (rojo) y espectros de la RDPL realizado termo-ópticamente (azul).

Los resultados han demostrado la posibilidad de grabar RDPL permanentes mediante la utilización de una palca de surcos periódicos y una llama de hidrógeno como fuente de calor.

Esta RDPL se espera que mantenga las propiedades de las RDPL realizadas mecánicamente con lo que tendrá por ejemplo gran estabilidad a altas temperaturas.

## 5.- Conclusión

Se ha demostrado el grabado de una RDPL permanente mediante la modificación de la técnica de grabado mecánica. Los resultados obtenidos concuerdan con lo obtenido en las simulaciones. También se encuentra concordancia entre la RDPL obtenida realizando solo presión y la obtenida por este método. Estas RDPL podrán ser utilizadas en aplicaciones como filtros o sensores a altas temperaturas ya que se esperan similares propiedades de los grabados por presión.

**Agradecimientos:** Los trabajos presentados en esta comunicación fueron en parte financiados por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología a través del Proyecto TEC2007-67987-C02-01.

## Referencias

- [1] J.M. LOPEZ-HIGUERA, "Handbook of Optical Fiber Sensing Technology" (Wiley, 2002).
- [2] M FUJUMAKI, Y OHKI, J L BREBNER and S ROORDA, "Fabrication of long-

period optical fibre gratings by use of ion implantation", Optics Letters, v25, 88–90, 2000

- [3] Y KONDO, K NOUCHI, T MITSUYU, M WATANABE, P KAZANSKY, K HIRAO "Fabrication of long-period fibre gratings by focused irradiation of infra-red femtosecond laser pulses", Optics Letters, v24, , 646–8,1999.
- [4] D D DAVIS, T K GAYLORD, E N GLYTSIS, S G KOSINSKI, S C METTLER, A M VENGSARKAR, "Long-period fibre grating fabrication with focused CO2 laser beams" Electronics Letters, v34 302–3,1998
- [5] G REGO, O OKHOTNIKOV, E DIANOV, V SULIMOV, "High-temperature stability of long-period fibre gratings using an electric arc", Journal Lightwave Technology, v19, 1574–9, 2001
- [6] S SAVIN, M J F DIGONNET, G S KINO, H J SHAW, "Tunable mechanically induced long-period fibre gratings", Optics Letters, v25 710–12, 2000
- [7] V BHATIA, A M VENGSARKAR, "Optical fibre long-period grating sensors", Optics Letters, v21, 692–4, 1996
- [8] B-Ou GUAN, H-Y TAM, S-L HO, S-Y LIU, DONG X-Y "Growth of long-period gratings in H2-loaded fibre after 193 nm UV inscription", IEEE Photonics Technology Letters, v12, 642–4, 2000
- [9] J BLOWS and D Y TANG "Gratings written with tripled output of Q-switched Nd:YAG laser", Electronics Letters, v36, 1837–9, 2000